

贵州苏铁根的解剖学研究*

艾素云¹, 黄玉源^{1,2}, 伍映辉¹

(1 广西大学农学院, 广西 南宁 530005; 2 仲恺农业技术学院, 广东 广州 510225)

摘要: 对贵州苏铁 (*Cycas guizhouensis* K. M. Lan et R. F. Zou) 的根进行了解剖学研究, 结果表明: (1) 据外部形态和内部结构不同, 贵州苏铁的根可分为正常根、珊瑚状根和肉质根三种类型。(2) 正常根与肉质根的木栓形成层起源于表皮内方第 1~2 层皮层薄壁细胞, 珊瑚状根的木栓形成层则起源于外方皮层的第 2~3 层细胞, 而非中柱鞘。(3) 首次发现肉质根一种新的增粗方式, 是由周皮内方的皮层薄壁细胞恢复分裂能力, 持续或周期性产生新的皮层薄壁细胞, 引起根的增粗。

关键词: 贵州苏铁; 根; 解剖学研究

中图分类号: Q 944

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700(2006)02-149-08

Study on Anatomy of the Root of *Cycas guizhouensis* (Cycadaceae)

AI Su-Yun¹, HUANG Yu-Yuan^{1,2}, WU Ying-Hui¹

(1 Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2 Zhongkai Agricultural College, Guangzhou 510225, China)

Abstracts: The root anatomy of *Cycas guizhouensis* has been investigated. The result demonstrated that the roots may be divided into three types, normal, coralline and fleshy ones, according to their morphology and anatomy. The phellogen of normal and fleshy roots were derived from the first and second parenchyma cell layers of epidermis inside, whereas that of coralline root came from the second and third cortical layer cells below epidermis.

Key words: *Cycas guizhouensis*; Root; Anatomical structure

贵州苏铁 (*Cycas guizhouensis* K. M. Lan et R. F. Zou) 属裸子植物门苏铁科苏铁属, 是古老的子遗植物, 也是我国少数几种分布在北回归线以北的苏铁类植物之一, 被列为我国一级保护植物 (贵州省林业厅, 2000)。贵州苏铁自然分布区仅限于我国滇黔桂三省交界的南盘江流域几个县, 由于其自然分布和生境的特殊性, 引起了我国植物学工作者的兴趣, 陈训和巫华美 (1990) 分析了贵州苏铁的核型; 邓朝义 (1995、1999) 研究了贵州苏铁的分类地位和变异类型; 黄玉源 (2001) 对贵州苏铁的羽片进行了解剖观察, 肖龙骞等 (2003) 研究了贵州苏铁的遗传多样性; 但根的解剖学研究至今未见报道。本文对贵州苏铁根的结构并结合发育特点进行了研究,

以期对贵州苏铁的系统研究提供解剖学依据。

1 材料与方法

材料采自广西隆林县金钟山乡乌冲村那朋生产队和广西南宁市青秀山风景区, 清水洗净泥沙后, 用 FAA 固定液固定, 常规石蜡切片法和冰冻切片法制片, 切片厚度 12~25 μm , 番红、苏木精染色, 德国 Laica DMLB 生物显微镜观察、测量及照相。

2 结果

贵州苏铁的根, 据外部形态和内部结构可区分为正常根、珊瑚根和肉质根 3 种类型。以下分别描述其结构特点。

2.1 正常根的解剖结构

* 基金项目: 国家自然科学基金 (30260007) 资助项目

收稿日期: 2005-07-11, 2005-12-29 接受发表

作者简介: 艾素云 (1951-) 女, 广西人, 高级工程师, 主要从事植物细胞学、形态解剖学和植物胚胎学研究。

2.1.1 初生结构

横切面近圆形或椭圆形,由表皮、皮层和维管柱三部分构成(图版iv: 1)。表皮细胞1层,近方形或外切向壁圆弧形,排列紧密、细胞壁稍有增厚、一些表皮细胞向外凸出形成根毛;皮层薄壁细胞12~18层,细胞体积大、圆形、排列较疏松、含淀粉粒,皮层薄壁细胞之间不均匀分布有一些含单宁物质的细胞;内皮层细胞也为圆形或椭圆形,细胞的径向壁和横向壁中部木栓质条状增厚的凯氏带甚为明显,内皮层通常为1层,但排列不规则,从凯氏带的分布情况看,一些部位有2层,每个细胞中多为一条不分支的、跨越横向壁并连接左右径向壁的凯氏带,还可见少数具分支的凯氏带。甚至在一些细胞中还出现有2条或3条凯氏带分布的现象(图版iv: 2);维管柱位于幼根中央、由中柱鞘、维管组织和髓部组成(林金星和胡玉熹,2000)。中柱鞘细胞4~5层,壁薄、含少量淀粉粒。近外方与内皮层邻接的2层细胞体积大、液泡明显、似皮层细胞,里面几层细胞较小、细胞质浓密、与维管柱内其它薄壁细胞特征相近。侧根原基一般起源于正对原生木质部外方的中柱鞘细胞,少数稍有偏移。初生木质部分化方式为外始式,原生木质部二原型(少数为三原型)、管状分子口径小、木质化程度高、着色深;后生木质部的管状分子口径较大、细胞壁较原生木质部厚、但木质化程度较低、着色较浅,木薄壁细胞中含淀粉粒较多。初生韧皮部与初生木质部相间排列,韧皮部除筛胞和薄壁细胞外,常有1排平周向排列、细胞壁很厚的韧皮纤维,韧皮部含淀粉粒较少,但含单宁的细胞较多,髓部为排列疏松的薄壁细胞(图版iv: 3)。

2.1.2 次生生长和次生结构

2.1.2.1 次生生长 贵州苏铁正常根的次生生长,其维管形成层的发生与被子植物一样,最初由初生韧皮部内方的薄壁细胞及初生木质部外方的中柱鞘细胞产生,但活动特点有所不同,位于初生韧皮部内方的维管形成层活动产生的新细胞分别向内、外方分化为次生木质部和次生韧皮部,维管射线多为单列、径向排列的薄壁细胞;而位于原生木质部外方由中柱鞘细胞产生的维管形成层活动,产生的新细胞则不分化成次生木质

部与次生韧皮部,而是全部分化为薄壁组织,这些薄壁组织形成很宽的、扇形排列的维管射线(图版iv: 6)。木栓形成层最先发生于成熟区后端表皮内方的第1~2层(局部为第3~4层)皮层细胞(图版iv: 4),活动产生周皮,替代表皮行保护功能。之后发生位置逐年内移,最后从次生韧皮部发生。观察发现,在根的周皮形成一段时间之后,周皮内方第2~3层皮层细胞进行分裂,产生新的皮层细胞,加在原有皮层外方,但仅有短期的分生能力,持续不久便停止分裂。

2.1.2.2 次生结构 由于木栓形成层最初起源于皮层外方,因此在相当长一段时间,次生结构仍有皮层存在(图版iv: 5),次生结构自外向内由周皮、皮层、初生韧皮部、次生韧皮部、维管形成层、次生木质部、初生木质部和髓部构成。周皮主要由多层木栓细胞组成,木栓层细胞壁栓质化但较薄、易皱缩、原生质体死亡,与木栓形成层及栓内层紧密重叠在一起,难以区分;皮层薄壁细胞1~数层,内含淀粉粒,还分布有较多的含单宁及晶体的细胞,由于木栓形成层产生位置逐年内移,使皮层细胞层数渐减,多年的老根不再有皮层存在。其结构由周皮、次生韧皮部、维管形成层、次生木质部和初生木质部组成。次生木质部中除木射线细胞是薄壁的外,其余全为厚壁的管状分子;次生韧皮部由筛胞、韧皮薄壁细胞及韧皮射线组成。维管形成层位于次生木质部与次生韧皮部之间。根中央的髓部薄壁细胞在次生长后期全部木化增厚(图版iv: 6)。

2.2 珊瑚状根的解剖结构

珊瑚状根,是靠近土壤表面的侧根呈负向地性生长、重复二叉分枝形成的外形瘤状、类似珊瑚状的团块,故称之。

2.2.1 根尖纵切面

珊瑚状根根尖形态、结构明显有别于一般正常根,因此将纵切面一并描述。

珊瑚状根根尖分区不明显。顶端分生组织位于根尖近前端的中央(图版iv: 7),纵向长度约300~400 μm ,横向宽度200~380 μm ,其衍生的细胞分化方式较为特殊,分生组织团基部分裂产生的细胞向根尖顶端分化形成外方皮层,并自内向外、自中心向两侧逐渐分化成熟,外方皮层是宿存的根冠细胞,由根冠原发育而来(Berg-

ersen 等, 1965), 根尖顶端最外 1~2 层细胞壁增厚, 栓质化、并在表层之内第 2~3 层细胞分化及形成木栓形成层, 继而形成周皮; 观察发现, 距根顶端约 550~600 μm 处表面已有皮孔形成; 分生组织团的两侧分化形成藻区和内方皮层, 藻区是苏铁类植物特有的与蓝藻共生的特化细胞及胞间隙, 藻区细胞也由中央向两侧上方逐渐分化成熟; 内方皮层细胞发育极快, 不久便伸长、扩大至与成熟区细胞同等大小, 并有单宁、块晶和簇晶等后含物贮藏; 分生组织团正上方的细胞分化成维管柱, 维管组织形成较早, 与顶端分生组织仅距 1~2 个细胞便已分化出管状分子 (图版 iv: 7)。

2.2.2 珊瑚状根的初生结构

由于珊瑚状根的木栓形成层初始产生于根尖最前端, 继而形成周皮, 因此幼根的表面已有周皮存在, 初生结构自外向内由周皮、外方皮层、藻区、内方皮层和维管柱 5 部分构成 (图版 iv: 8)。周皮细胞的特征及排列与正常根相同, 不同点是珊瑚状根周皮上有皮孔存在; 与周皮邻接的是外方皮层, 外方皮层细胞 8~15 层, 圆形或椭圆形、细胞壁薄、排列较疏松、径向略有压扁; 内方皮层位于维管柱外方, 一般也为 8~15 层细胞, 但细胞的体积和细胞内淀粉粒颗粒明显较外方皮层大, 其细胞径向壁稍有延长; 内、外方皮层都分布有较多的含单宁和晶体的细胞。外方皮层与内方皮层之间是藻区, 为一环径向壁特别伸长的特化细胞, 该层细胞的径向壁长度达 160~320 μm 、切向壁与横向壁长度仅 3~8 μm , 因此从纵切面及横切面两个方向观察细胞均呈细线状、平周向排列, 该层细胞的胞间隙特别发达, 径向长度与藻区细胞等长, 宽度约 40~80 μm , 观察发现, 该层细胞的胞间隙相对独立、仅在同层细胞之间互相连通而不与内外方皮层细胞的胞间隙相通, 胞间隙里充满了蓝藻门的鱼腥藻, 而在藻区细胞内未发现藻类。由于该层细胞形态特殊, 胞间隙有共生藻类, 故将该层细胞连同侧旁的胞间隙称为藻区 (或藻带), 并将其异常扩大的胞间隙称为内生腔 (管中天和周林, 1996), 据前人研究, 蓝藻有固氮作用, 与苏铁共生能为苏铁提供氮素营养 (Bergersen 等, 1965; 朱 1982); 内皮层细胞 1 层, 经番红染色, 可见内

皮层凯氏带相应部位虽不增厚但已栓质化; 维管柱的结构与正常根基本相同, 但所占比例小, 原生木质部二原型或三原型, 中央有少量的髓部薄壁细胞或缺如, 维管柱中的木质部和韧皮部有较多的含单宁的细胞, 染色很深。

2.2.3 珊瑚状根的次生生长和次生结构

2.2.3.1 次生生长 珊瑚状根维管柱有较微弱的次生生长, 维管形成层与正常根一样起源于韧皮部内方的薄壁细胞及中柱鞘细胞, 但维管形成层活动能力不强, 产生的次生组织有限, 最粗的珊瑚状老根的次生木质部或韧皮部径向仅有 6~8 层细胞。木栓形成层是从根尖顶端开始就发生的, 因此周皮在初生结构就已具备; 观察中发现, 珊瑚状根与正常根一样, 周皮内方的皮层细胞也具有短期的分裂能力, 变成形成层状细胞, 产生薄壁细胞补充外方皮层 (图版 ⑨ 9), 但较老的珊瑚状根, 该部位细胞分裂停止 (图版 ⑨ 10)。

2.2.3.2 次生结构 珊瑚状根的次生结构前期与初生结构一样也是由周皮、外方皮层、藻区、内方皮层和维管柱等五部分构成。次生结构表面的周皮较厚; 外方皮层的厚度由于周皮的逐年内移产生而逐渐减薄, 最后周皮发生至藻区外围时, 外方皮层已不存在; 内方皮层也由于中央维管柱的扩大、挤压使维管柱外围的几层细胞被挤坏、变形; 藻区细胞到后期也扭曲变形 (图版 ⑨ 11); 根中央的维管柱仍占较小比例, 次生木质部或韧皮部仅有数层细胞, 较小的根中的髓部细胞全分化为厚壁组织, 而较粗的根中的髓部依然存在 (图版 ⑨ 12)。

2.3 肉质根的解剖结构

贵州苏铁的肉质根直径 3~20 mm, 形态类似木薯的块根, 皮层细胞中充满淀粉粒, 为典型的贮藏组织, 故称肉质根或贮藏根。

2.3.1 肉质根的初生结构

贵州苏铁的肉质根是侧根成熟区以上部分增粗形成的, 因此初生结构与正常根的结构相同。

2.3.2 肉质根的次生生长和次生结构

2.3.2.1 次生生长 贵州苏铁的肉质根也有正常的次生生长, 但维管形成层产生的次生组织与皮层相比所占比例小, 而且根径越大维管柱所占的比例越小, 经测量, 直径 5 mm 的肉质根, 维

管柱直径是 1.8~2 mm, 维管柱直径为根径的 36%~40%, 直径达 20 mm 的肉质根, 维管柱直径是 3 mm, 此时维管柱直径仅是根径的 15%, 因此从测量的结果可以看出维管柱的直径增大对根径的增粗作用不大。而引起肉质根增粗的主要原因是皮层细胞的大量增加所致。观察发现, 与正常根一样, 在成熟区上部, 周皮内方的皮层细胞也恢复了分裂能力, 这些细胞在横切面上呈长方形、径向扁平、排列整齐、类似维管形成层状(本文暂称为皮层形成层状细胞), 进行平周分裂(图版 ⑬ 13), 分裂产生的新细胞全部向内分化为薄壁细胞, 加在原有皮层的外方, 与正常根不同的是该皮层形成层状细胞分裂非常旺盛、而且进行持续或周期性的活动, 产生大量的新细胞, 使皮层的细胞层数不断增多, 由初生结构时的 10~20 层细胞增加到 80 多层。因此皮层所占比例越来越大。从横切面观察可见, 直径达 18 mm 的肉质根, 皮层形成层状细胞仍然保持着旺盛的分裂能力, 继续产生新的皮层细胞(图版 ⑬ 14); 肉质根中形成周皮的木栓形成层最初也发生于表皮以内第 1~2 层皮层细胞。

2.3.2.2 次生结构 肉质根的次生结构自始至终由周皮、皮层和维管柱三大部分构成。周皮厚、位于最外方, 主要由多层木栓细胞组成, 无皮孔。皮层薄壁细胞随着根的逐渐增粗有 30~80 多层不等, 细胞内充满了淀粉粒, 而且随着根的直径越大淀粉粒越多且颗粒越大。近周皮处的一些皮层细胞含块晶或粘液, 还有少量的石细胞; 内皮层始终存在, 细胞内充满淀粉粒, 看不到凯氏带。皮层细胞的体积以及细胞内的淀粉颗粒都较维管柱内各类细胞大得多。因此皮层与维管柱的界限分明(图版 ⑬ 15)。维管柱由中柱鞘、初生韧皮部、次生韧皮部、维管形成层、次生木质部、初生木质部及髓部组成。次生木质部或次生韧皮部径向约有 10~20 层细胞, 细胞种类及排列特点与正常根的次生结构基本相同; 维管柱中央始终保留髓部薄壁细胞, 细胞壁未木质化增厚, 韧皮部及髓部均有较多含单宁的细胞(图版 ⑬ 16)。

3 分析与讨论

种子植物根的内皮层通常皆为 1 层细胞, 凯

氏带在每个细胞中仅 1 条, 沿着细胞的径向壁和横向壁中央环绕成一封闭的环, 在横切面上仅可见到径向壁上的 2 个小点, 即凯氏点。而作者在观察贵州苏铁幼根横切面时, 发现作为内皮层重要特征的凯氏带呈非连续性的分布在中柱鞘外方的两层细胞中, 即平周向排列的连续数个细胞的凯氏带在紧邻中柱鞘外方的细胞层, 而另一些数个相连的细胞的凯氏带则在中柱鞘以外第二层细胞中、有的部位内外两层细胞同时都有凯氏带分布, 因此该内皮层看上去常为不整齐的一环。细胞径向壁上的凯氏点, 多见有 2 个点, 也有 3 个或 4 个点的。若切面正好通过细胞的横向壁, 则见大多数细胞含 1 条不分支的凯氏带, 但有少数凯氏带分支, 此外还可见到一些细胞中出现 2 条或 3 条的凯氏带。通过作纵切面进一步观察发现, 其内皮层细胞的凯氏带常有分支现象, 而分支的部位与方向无规律, 有的在细胞的径向壁上, 有的则在横向壁处发生。凯氏带分支的后端有的延伸到轴向同一层细胞, 而有的则通到相邻的另一层细胞中。由此形成了在横切面上所见的奇特现象。

由于凯氏带与内皮层细胞的细胞质膜牢固结合, 对根毛吸收的无机养分在进入输导组织时进行选择与控制。凯氏带分支后, 数量增多, 无疑加强了对养分选择与控制的力度。关于凯氏带出现分支的现象, 仅有王发祥和梁惠波(1996)在四川苏铁侧根中曾有提及, 此外未见其他相关报道, 至于造成凯氏带分支的内在原因, 有待进一步研究。

过去对苏铁类植物根结构的报道仅有正常根与珊瑚状根两种类型(李平等, 1994; 管仲天和周林, 1996; 王发祥和梁惠波, 1996; 林金星和胡玉熹, 2000), 而近年黄玉源(2001)在德保苏铁, 徐峰等(2004)在尖尾、宽叶、隆林等野生苏铁中发现除以上两种根外还有一种主要担负贮藏功能的肉质根, 并对德保苏铁和尖尾苏铁的肉质根进行了解剖观察, 发现皮层的比例大、细胞多达 48~80 层, 本文对贵州苏铁观察的结果与之基本相同。

据野外勘察, 贵州苏铁及其它一些野生苏铁多生长在河谷山地, 生境中光照强、热量高, 土壤多为沙页岩发育的黄壤、黄红壤或由石灰岩发

育的黑色石灰土, 土体干燥、结构较差。在此环境下水分和无机盐的吸收、运输固然重要, 然而营养物质的贮存更不可缺, 因为在长期干旱加之土壤贫瘠的情况下, 根的吸收功能有可能无法正常进行, 而需通过消耗体内的贮藏物质来维持生命活动, 因此该类植物除发育出吸收、固着作用的正常根和主要行固氮及通气作用的珊瑚状根外, 还分化形成一种专司营养物质贮藏的肉质根, 这无疑是环境长期影响的结果以及为满足生存与繁衍的需要, 植物形态结构对逆境的适应机制。

关于根的木栓形成层起源位置, 国内外植物学专家、学者几乎一致认为, 有次生生长的双子叶植物和裸子植物, 木栓形成层都起源于中柱鞘(吴树明和刘德仪, 1990; 刘穆, 2004); 只有少量次生生长的少数双子叶植物的木栓形成层从表皮下产生(李正理等, 1962), 因此前者周皮形成不久中柱鞘以外的表皮、皮层势必会因为栓化的周皮切断了水分和营养物质的供给而死亡、脱落或形成落皮层, 致使根的次生结构不再有皮层存在。而本文观察贵州苏铁三种类型的根, 木栓形成层皆起源于外周, 正常根和肉质根由表皮内方、珊瑚状根由外方皮层内侧的皮层薄壁细胞产生, 中柱鞘完全没有参与形成, 由于三种根的生长方式不同, 造成了结构上的差异, 珊瑚状根和肉质根自始至终都有皮层存在, 正常根的次生结构也有相当长时间具有皮层, 当木栓形成层发生位置逐年内移到维管柱时, 皮层才完全消失。木栓形成层发生于皮层外部这一现象李平等(1994)在攀枝花苏铁的正常根中也曾发现(但文中认为由外皮层产生), 此现象表明了是一些苏铁植物根结构与生长方式的多样性和复杂性。

肉质根的增粗方式通常有两种, 一是由维管形成层活动产生大量的次生木质部与次生韧皮部薄壁细胞; 另一种则是由维管形成层产生正常的次生结构再加上副形成层产生的三生结构(李正理等, 1962; 吴树明和刘德仪, 1990; 李扬汉, 2000; 刘穆, 2004)共同作用所致。而本研究在解剖中发现, 贵州苏铁肉质根的增粗方式却是由周皮内方的皮层薄壁细胞恢复分裂能力, 变成形成层状细胞, 由这些细胞持续或周期性进行平周分裂的结果。根的这种增粗方式, 到目前为止所

有的教科书、专著及研究论文均未见报道, 究竟是种性特征还是环境因素所致? 其它种类的苏铁乃至别的植物的肉质根是否也存在这种增粗方式, 有待于进一步研究。

〔参 考 文 献〕

- 王发祥, 梁惠波, 1996. 中国苏铁 [M]. 广州: 广东科技出版社, 143—160
- 刘穆, 2004. 种子植物形态解剖学导论 (第2版) [M]. 北京: 科学出版社, 146—149
- 李扬汉, 2000. 植物学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 130—136
- 李正理, 张景钺, 王伏雄等译 (伊稍 K. 著), 1962. 植物解剖学 [M]. 北京: 科学出版社, 249, 384—385
- 吴树明, 刘德仪译 (FAHN A. F. 著), 1990. 植物解剖学 [M]. 天津: 南开大学出版社, 267, 352
- 林金星, 胡玉熹, 2000. 裸子植物结构图集 [M]. 北京: 科学出版社, 136—144
- 贵州省林业厅, 2000. 贵州野生珍贵植物资源 [M]. 北京: 中国林业出版社, 33
- 黄玉源, 2001. 中国苏铁科植物的系统分类与演化研究 [M]. 北京: 气象出版社, 79
- 管仲天, 周林, 1996. 中国苏铁植物 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 128~131
- Bergersen FJ, Kennedy GS, Wittmann W, 1965. Nitrogen fixation in the coralloid roots of *Macaranga communis* L. Aust [J]. *J Biol Sci*, **18**: 1135—1142
- Chen X (陈训), Wu HW (巫华美), 1990. Karyotype analysis of *Cycas guizhouensis* Lan et R. F. Zou [J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **7** (3): 45—48
- Deng CY (邓朝义), 1995. Type of variation of *Cycas guizhouensis* Lan et R. F. Zou [J]. *Chin Bull Bot* (Special) (植物学通报 (专辑)), **12**: 28—29
- Deng CY (邓朝义), 1999. Discuss on taxonomy relationships in *Cycas guizhouensis* and *Cycas sichuanensis* [J]. *Guizhou Forestry Science and Technology* (贵州林业科技), **27** (1): 31—33
- Li P (李平), Wu XJ (吴先军), Zhao ZJ (赵振锯), et al, 1994. Studies in the biological characteristics of *Cycas panzhihuaensis* I. Morphology and anatomy of vegetative organs [J]. *J Sichuan Univ* (Natural Science Edition) (四川大学学报自然科学版), **31** (4): 546—555
- Xiao LQ (肖龙骞), Ge XJ (葛学军), Gong X (龚洵), et al, 2003. Genetic Diversity of *Cycas guizhouensis* [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **25** (6): 648—652
- Xu F (徐峰), Huang YY (黄玉源), Lu YF (陆媛峰), et al, 2004. Research on root types and anatomical structure of *Cycas acuminatissima* [J]. *J Guangxi Agric Biol Sci* (广西农业生物科学), **23** (3): 210—213

Zhu C (朱 静), 1982. Ultrastructure of obsenation on the cells of eyano-
phyta and inner cavity in the coralloid roots of cycas yevoluta thumb
[J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 24 (2): 109—114

图版说明

图版 I 1~ 6. 正常根横切面。1. 示初生结构× 33; 2. 示内皮
层上明显的凯氏带× 198; 3. 示初生结构的维管柱× 66; 4. 示
木栓形成层起源于表皮之下× 132; 5. 示早期的次生结构仍有
皮层存在。6. 示后期的次生结构× 33; 7. 珊瑚根纵切面, 示
根尖分生组织及其分化特点× 66, 8. 珊瑚根横切面, 示初生结
构× 33

图版 II 9~ 12. 珊瑚根横切面。9. 示生长早期周皮内方产生
皮层形成层状细胞× 66; 10. 示次生长不久皮层形成层状细
胞不再存在× 66; 11. 示老根接近消失的外方皮层、被挤压变
形的内方皮层及扭曲的藻区细胞; 12. 示次生结构的维管柱×
66; 13~ 16. 肉质根横切面; 13. 示生长早期周皮内方的皮层形
成层状细胞× 66; 14. 示直径 18 mm 的肉质根形成层状细胞依然
分裂旺盛× 66; 15. 示皮层和维管柱界限分明× 66; 16. 示次生
结构的维管柱× 33

ep. 表皮, co. 皮层, vc. 维管柱, en. 内皮层, cs. 凯氏带,
pe. 中柱鞘, px. 初生木质部, pp. 初生韧皮部, pi. 髓, ph.
木栓形成层, pd. 周皮, sp. 次生韧皮部, sx. 次生木质部,
am. 顶端分生组织, oc. 外方皮层, ic. 内方皮层, aa. 藻区,
cc. 皮层形成层状细胞, fr. 维管射线

Explanation of Plates

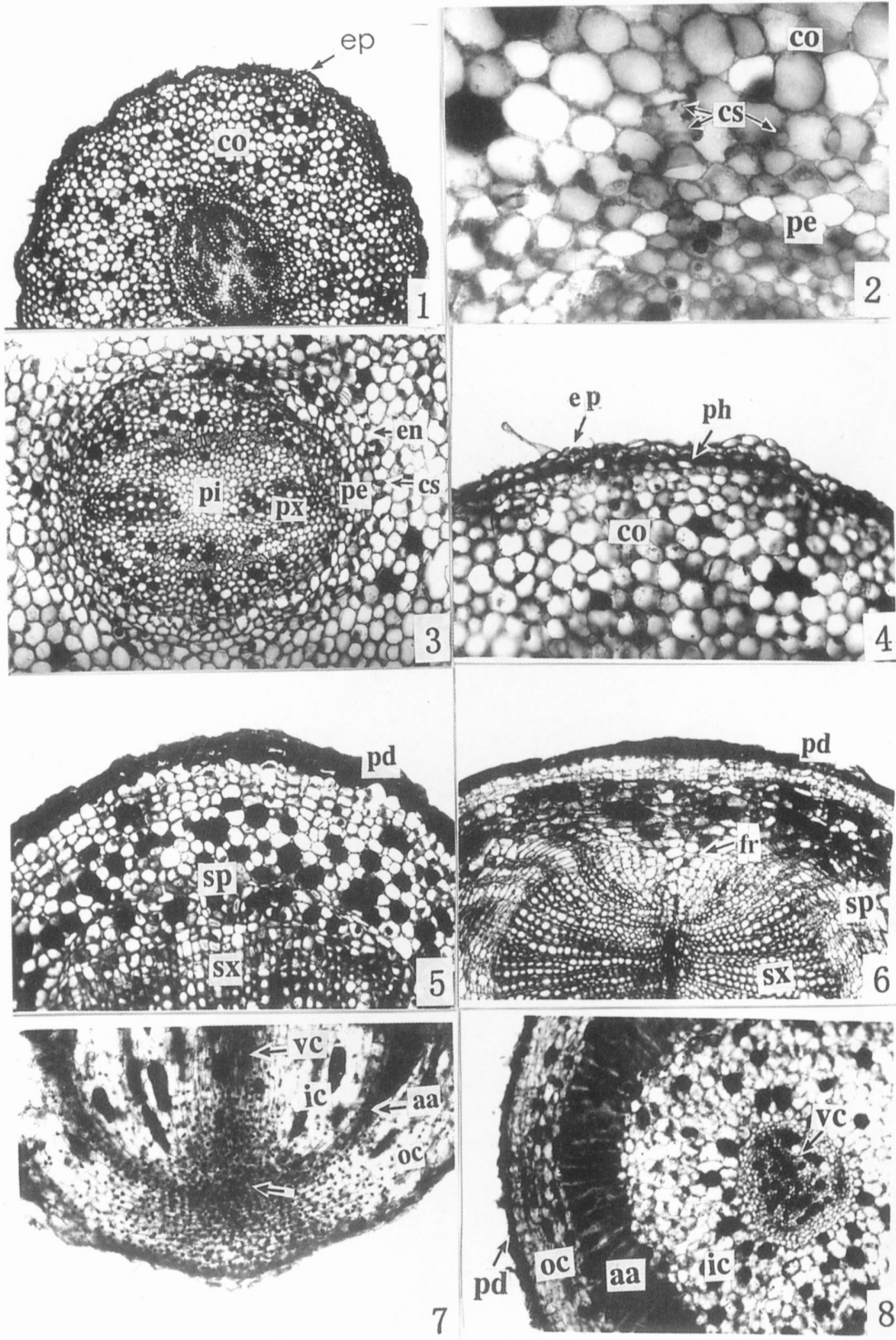
Plate I 1~ 6. transverse section of normal root: 1. primary structure
× 33; 2. obvious casparian strip in endodemis × 198; 3. cortex in
primary structure × 66; 4. phellogen that devive from inside epidemis ×
132; 5. cortex in the inchoate secondary structure; 6. secondary strue-
ture at the late period × 33; 7. meristematic tissue and its differentiation
character in slit section of coralline root × 66; 8. primary structure in
transverse section of coralline root × 33.

Plate II 9~ 12. transverse section of coralline root. 9. cells like cortex
cambium cells inside the inchoate peridem × 66; 10. cells like cortex
cambium cells disappears not long after secondary growth of root × 66; 11.
outer cortex of old root nearly disappears and inner cortex is pressed to ana-
morphic and alga cells is contorted; 12. vascular cylinder of secondary
structure × 66. 13~ 16. transverse section of fleshy root. 13. cells like
cortex cambium cells inside inchoate peridem × 66; 14. Cells like cortex
cambium cells still split rapidly in fleshy roots which diameter are already
18 mm × 66; 15. Division between cortex and vascular cylinder is obvious
× 66; 16. vascular cylinder in secondary structure of root × 33.

ep. epidemis, co. cortex, vc. vascular cylinder, en. endodemis,
cs. casparian strip, pe. pericycle, px. primary xylem, pp. primary
phloem, pi. pith, ph. phellogen, pd. peridem, sp. secondary ph-
loem, sx. secondary xylem, am. apical menistem, oc. outer cortex,
ic. inner cortex, aa. alga area, cc. cells like cortex cambium cells,
fr. fibrovascular radial.

艾素云等: 图版 iv

An Su-Yun *et al*: Plate iv



艾素云等: 图版 ㉔

An Su-Yun *et al*: Plate ㉔

